

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета _____ Небольсин В.А.

«30» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Микроэлектромеханические системы»

Направление подготовки 28.03.02 Наноинженерия

Профиль Инженерные нанотехнологии в приборостроении

Квалификация выпускника Бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы _____ /Липатов Г.И./

Заведующий кафедрой
Полупроводниковой электроники
и наноэлектроники _____ /Рембеза С.И./

Руководитель ОПОП _____ /Липатов Г.И./

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели изучения дисциплины

формирование у обучающихся знаний о принципах работы, устройстве и областях применения микроэлектромеханических систем (МЭМС).

1.2. Задачи освоения дисциплины

уметь разрабатывать элементную базу МЭМС, удовлетворяющую функциональным требованиям и областям применения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Микроэлектромеханические системы» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Микроэлектромеханические системы» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 — Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и экспериментального исследования;

ПК-3 — Способность проводить информационный поиск по отдельным объектам исследований;

ПКВ-3 — Готовность в составе коллектива исполнителей участвовать в исследовании физических принципов работы компонентов микро- и наносистемной техники, возможностей и характеристик используемых материалов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать модели компонентов микросистемной техники (МСТ), адекватные протекающим в них физическим процессам
	уметь проводить оценочные расчеты характеристик компонентов МСТ
	владеть методами и средствами моделирования компонентов МСТ
ПК-3	знать методики поиска, сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности
	уметь представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций
	владеть анализом и систематизацией результатов исследований
ПКВ-3	знать методы анализа и расчета характеристик исследуемой системы
	уметь осуществлять формализацию и алгоритмизацию функционирования исследуемой системы

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Микроэлектромеханические системы» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
лекции	36	36
лабораторные работы (лр)	18	18
Самостоятельная работа	90	94
Курсовой проект	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации — экзамен	+	+
Общая трудоемкость		
академические часы	180	180
з.е.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекции	Лаб. зан.	СРС	Всего часов
1	МЭМС/НЭМС. Основные понятия и определения	Классификация МЭМС/НЭМС по областям применения и конструктивная реализация: датчики давления, акселерометры, гироскопы, ВЧ-ключи, цифровые проекторы, акустические сенсоры, микрофлюидные устройства, биосенсоры. Особенности изготовления МЭМС/НЭМС	4	—	8	12
2	Модели типовых компонентов МЭМС/НЭМС	Типовая модель датчика давления. Пьезорезистивные и емкостные датчики давления. Резонирующие датчики. Типовая модель микроакселерометра. Емкостные, пьезорезистивные и резонирующие акселерометры. Типовая модель	20	12	38	70

		вибрационного микрогироскопа: механические резонаторы с одной и двумя степенями свободы; эффект Кориолиса; возбуждение и детектирование вибрационного микрогироскопа. Типовая модель ВЧ-ключа. Микрофлюидные устройства				
3	Методы и схемотехника измерений выходных сигналов сенсоров МЭМС/НЭМС	Принципы измерения напряжения и сжатия. Мост Уитстона. Принципы измерения микроперемещения с использованием дифференциальной емкости и преобразования аналогового сигнала в цифровой. Схемотехника считывания сигналов с дифференциальной емкости. Шумы в электронных приборах и системах	8		20	28
4	Методы разработки дискретных моделей механических компонентов МЭМС/ НЭМС	Метод конечных разностей. Методы конечных и граничных элементов	4	6	24	34
Итого			36	18	90	144

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Моделирование частотных свойств RLC -цепи.
2. Изучение принципа работы и характеристик микромеханического акселерометра.
3. Изучение принципа работы и характеристик микромеханического гироскопа.
4. Моделирование механической части МЭМС/НЭМС с использованием САПР моделирования методом конечных элементов.

5.3 Перечень тем практических занятий

Не предусмотрены учебным планом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 6 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовых проектов:

1. Проектирование микроакселерометра с складчатым подвесом (по вариантам).
2. Проектирование микроакселерометра с четырехконсольным ломаным одноветьевым балочным подвесом («ноги краба») (по вариантам).
3. Проектирование микроакселерометра с четырехконсольным ломаным двухветьевым балочным подвесом (по вариантам).

4. Проектирование микроакселерометра с двухконсольным мостовым балочным подвесом (по вариантам).

5. Проектирование тензорезистивного датчика давления (по вариантам).

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- приобретение знаний о методах описания и моделирования компонентов микросистемной техники и областях использования изделий МСТ;
- приобретение знаний о принципах работы, конструктивной реализации, особенностях, преимуществах и недостатках, технологии изготовления отдельных видов микроэлектромеханических систем;
- приобретение навыков представления результатов исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

Курсовой проект включают в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знает модели компонентов микросистемной техники (МСТ), адекватные протекающим в них физическим процессам	Защита лабораторной работы. Тест	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	умеет проводить оценочные расчеты характеристик компонентов МСТ	Защита лабораторной работы. Тест	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеет методами и средствами моделирования компонентов МСТ	Защита лабораторной работы. Тест	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знает методики поиска, сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информа-	Выполнение курсового проекта	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах

	ции в сфере профессиональной деятельности			
	умеет представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Выполнение курсового проекта	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеет анализом и систематизацией результатов исследований	Выполнение курсового проекта	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-3	знает методы анализа и расчета характеристик исследуемой системы	Выполнение курсового проекта	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	умеет осуществлять формализацию и алгоритмизацию функционирования исследуемой системы	Выполнение курсового проекта	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеет методами анализа и расчета характеристик исследуемой системы	Выполнение курсового проекта	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знает модели компонентов микросистемной техники (МСТ), адекватные протекающим в них физическим процессам	Тест	Выполнение теста на 90—100 %	Выполнение теста на 80—90 %	Выполнение теста на 70—80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	умеет проводить оценочные расчеты характеристик компонентов МСТ	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеет методами и средствами моделирования	Решение приклад-	Задачи решены в полном	Продемонстрирован	Продемонстри-	Задачи не решены

	компонентов МСТ	ных задач по МЭМС	объеме и получены верные ответы	верный ход решения всех задач, но не получен верный ответ во всех задачах	рован верный ход решения в большинстве задач	
ПК-3	знает методики поиска, сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности	Выполнение курсового проекта	Курсовой проект оформлен правильно и в срок. Задачи решены в полном объеме	Продемонстрирован верный ход решения большинства задач	Продемонстрирован верный ход решения только части задач	Задачи не решены
	умеет представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Выполнение курсового проекта	Курсовой проект оформлен правильно и в срок. Задачи решены в полном объеме	Продемонстрирован верный ход решения большинства задач	Продемонстрирован верный ход решения только части задач	Задачи не решены
	владеет анализом и систематизацией результатов исследований	Выполнение курсового проекта	Курсовой проект оформлен правильно и в срок. Задачи решены в полном объеме	Продемонстрирован верный ход решения большинства задач	Продемонстрирован верный ход решения только части задач	Задачи не решены
ПКВ-3	знает методы анализа и расчета характеристик исследуемой системы	Тест	Выполнение теста на 90—100 %	Выполнение теста на 80—90 %	Выполнение теста на 70—80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	умеет осуществлять формализацию и алгоритмизацию функционирования исследуемой системы	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеет методами анализа и расчета характеристик исследуемой системы	Решение прикладных задач по МЭМС	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех задач, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Колебания системы, происходящие без переменного внешнего воздействия и поступления энергии извне есть ...

- А) автоколебания;
- Б) свободные колебания;
- В) резонансные колебания.

2. Какая из приведенных сил является возмущающей?

- А) $F = -ky$;
- Б) $F = -\beta\dot{y}$;
- В) $F = F_m \sin \omega t$.

3. Сколько степеней свободы имеет гироскоп LL-типа?

- А) одну;
- Б) две;
- В) три.

4. Демпфирование колебаний в чувствительном элементе микроакселерометра реализуется на основе:

- А) вязкого трения газовой среды;
- Б) вязкого трения в жидкости;
- В) внутрикристаллического трения в материалах;
- Г) конструкционного трения.

5. В конструкции микроакселерометра пьезорезистивные преобразователи размещают:

- А) на балках в местах, где наибольшие нормальные напряжения;
- Б) на торсионах в местах, где наибольшие касательные напряжения;
- В) на упругих подвесах в местах концентрации напряжений;
- Г) в местах наибольших перемещений инерционной массы.

6. Демпфер в механической системе МЭМС предназначен для:

- А) быстрой обработки измеряемого сигнала;
- Б) уменьшения времени собственных колебаний;
- В) ограничения резонансных колебаний;
- Г) защиты от перегрузок;
- Д) повышения чувствительности.

7. Характеристики чувствительного элемента МЭМС зависят от величины:

- А) массы;
- Б) жесткости подвеса;
- В) демпфирования;
- Г) внешних воздействий;
- Д) температуры окружающей среды.

8. Чувствительность микроакселерометра пропорциональна:

- А) ω_0 ; Б) $1/\omega_0^2$; В) $1/\omega_0$; Г) ω_0^2 ;
 Д) жесткости упругого подвеса; Е) деформации упругого подвеса.

9. Рабочий диапазон микроакселерометра пропорционален:

- А) жесткости упругого подвеса; Б) ω_0 ;
 В) величине массы ЧЭ; Г) величине демпфирования;
 Д) деформации упругого подвеса.

10. Чем определяется выбор размеров элементов сетки в методе конечных элементов?

- А) достижением приемлемой сходимости и точности расчета;
 Б) затратами времени на вычисление;
 В) размерами и формой структуры, наличием и величиной градиентов физических параметров, наличием других неоднородностей структуры (например, интерфейсов);
 Г) всеми перечисленными факторами в совокупности.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Собственная демпфированная частота (в герцах) микроприбора, имеющего инерционную массу $m=10^{-4}$ кг, жесткость подвеса $k=10^4$ Н/м, коэффициент демпфирования $\zeta=0,71$, составляет:

- 1) 10^4 ; 2) $1,6 \cdot 10^3$; 3) $1,12 \cdot 10^3$; 4) $0,08 \cdot 10^3$.

2. Собственная частота f_0 (в герцах) микроприбора, имеющего инерционную массу $m=10^{-6}$ кг и жесткость подвеса $k=100$ Н/м, составляет:

- 1) 10^4 ; 2) $1,6 \cdot 10^3$; 3) $3,16 \cdot 10^2$; 4) $0,5 \cdot 10^2$.

3. Укажите, какова круговая собственная демпфированная частота микросенсора, если его инерционная масса $m=10^{-3}$ кг, жесткость подвеса $k=10^3$ Н/м, добротность $Q=0,75$:

- 1) 10^3 ; 2) 700; 3) 159; 4) 111.

4. Как изменится коэффициент демпфирования чувствительного элемента микроакселерометра при уменьшении давления газа в два раза?

- А) Уменьшится в два раза; Б) Увеличится в два раза; В) Не изменится.

5. Как изменится коэффициент демпфирования чувствительного элемента микроакселерометра при изменении его топологии с квадратной на прямоугольную той же площади?

- А) Не изменится; Б) Увеличится в $n^2/2+2/n^2$ раз; В) Уменьшится в $n^2/2+2/n^2$ раз.

6. Зависит ли коэффициент демпфирования от зазора между параллельно движущимися поверхностями микроакселерометра?

- А) Уменьшается с увеличением зазора;
- Б) Увеличивается с увеличением зазора;
- В) Не меняется с изменением зазора.

7. Какие напряжения действуют в однослойной пластине с осесимметричным распределением температуры?

- А) радиальные; Б) тангенциальные; В) радиальные и тангенциальные.

8. От чего зависит деформация пластины, изогнутой по шаровой поверхности?

- А) радиуса шаровой поверхности;
- Б) толщины пластины;
- В) градиента температуры в пластине;
- Г) коэффициента термического расширения материала пластины;
- Д) градиента температуры в пластине и коэффициента термического расширения материала пластины;
- Е) радиуса шаровой поверхности и толщины пластины.

9. Где возникают максимальные напряжения в заземленной по контуре пластине при нагружении равномерно распределенной нагрузкой?

- А) по контуру заземления пластины;
- Б) в центре пластины;
- В) напряжения равномерно распределены по всей пластине.

10. Что характеризуют граничные условия при определении прогиба пластины с заземленными краями?

- А) угол поворота сечения пластины;
- Б) прогиба пластины;
- В) угол поворота сечения пластины и прогиб пластины.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Рассчитать абсолютный коэффициент демпфирования квадратного чувствительного элемента микроакселерометра размером 800×800 мкм². Величина зазора между параллельно сближающимися плоскостями 3 мкм. Демпфирующая среда — воздух при давлении 1 атм. Рабочая температура 20 °С.

- А) $5,57 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м; Б) $2,73 \cdot 10^{-2}$ Н·с/м; В) $5,57 \cdot 10^{-2}$ Н·с/м.

2. Определить напряжения в тонком слое двухслойной пластины ($h_1 \ll h_2$) при заданном максимальном прогибе $\delta_{\text{макс}} = 30$ мкм. Модуль упругости материала $E = 140$ ГПа. Длина пластины $l = 5$ мм, толщина $h_2 = 100$ мкм.

- А) 0,67 ГПа; Б) 0,067 ГПа; В) 6,72 ГПа.

3. Во сколько раз нормальная компонента силы, действующей между пласти-

нами конденсатора, больше продольной компоненты при изменении площади перекрытия пластин, если расстояние между пластинами равно 2,5 мкм, ширина и длина пластин соответственно 10 мкм и 100 мкм?

- А) 4; Б) 40; В) 160.

4. Рассчитать радиус кривизны двухслойной пластины при термическом нагружении, если $h_1=h_2=0,4$ мм; $E_1=160$ ГПа; $E_2=150$ ГПа; $\alpha_1=6\cdot 10^{-6}$ К⁻¹; $\alpha_2=5,2\cdot 10^{-6}$ К⁻¹; $T=200$ °С.

- А) 1,667 мм; Б) 1,667 см; В) 1,667 м.

5. Рассчитать коэффициент жесткости упругого подвеса, образованного четырьмя последовательно соединенными парами балок толщиной 10 мкм с отношением длины к ширине 25, отношением длин балки и элемента жесткости 5 и отношением длины к ширине элемента жесткости 2, изготовленного из материала с модулем упругости 160 ГПа.

- А) 20,5 Н/м; Б) 205 Н/м; В) 2050 Н/м.

6. Найти собственную частоту микроакселерометра с подвесом инерционной массы из поликремния (модуль упругости 170 ГПа). Инерционная масса $0,37\cdot 10^{-6}$ кг подвешена на двух упругих балках длиной 200 мкм с размерами поперечного сечения: шириной 40 мкм и высотой 20 мкм.

- А) 3,04 кГц; Б) 30,4 кГц; В) 191,7 кГц.

7. На инерционную массу $0,37\cdot 10^{-6}$ кг действует ускорение 1g. Определить инерционную нагрузку.

- А) 3,63 мкН; Б) 0,37 мг; В) 3,63 мг.

8. Во сколько раз коэффициент жесткости в осевом направлении больше коэффициента жесткости в поперечном направлении подвеса из двух параллельных мостовых балочных опор квадратного сечения, если длина балки превышает ширину в 10 раз?

- А) 10; Б) 100; В) 1000.

9. Определите зависимость от давления прогиба в центре квадратной кремниевой мембраны (модуль упругости 170 ГПа, модуль Юнга 0,385) размером 1×1 мм² и толщиной 1 мкм.

- А) $5,47\cdot 10^{-11}P$, нм; Б) $5,47\cdot 10^{-8}P$, нм; В) $5,47\cdot 10^{-5}P$, нм.

10. Ширина консоли в два раза больше толщины. Каково соотношение между коэффициентами ее жесткости для направлений, перпендикулярных к толщине k_t и ширине k_w ?

- А) $k_t/k_w=1$; Б) $k_t/k_w=2$; В) $k_t/k_w=4$; Г) $k_t/k_w=8$.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает проведение зачета.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Измерительные свойства микромеханических устройств.
2. Математическое описание чувствительного элемента как динамической системы.
3. Сравнительный анализ различных конструктивных схем инерциальных измерителей.
4. Гармонические колебания.
5. Собственные и вынужденные колебания.
6. Резонанс системы.
7. Уравнение движения и передаточная функция микродатчика давления.
8. Структурная схема и полная передаточная функция микросистемного акселерометра.
9. Определение добротности интегральных чувствительных элементов.
10. Особенности микросистемных чувствительных элементов датчиков линейных ускорений.
11. Особенности микросистемных чувствительных элементов датчиков угловых ускорений.
12. Микроэлектронные преобразователи и узлы, встраиваемые в интегральные датчики ускорений.
13. Уравнение движения и передаточная функция микродатчика ускорения.
14. Особенности газодинамического демпфирования микромеханических маятников акселерометров.
15. Формирование информации об измеряемом ускорении.
16. Микроакселерометр компенсационного преобразования.
17. Микроакселерометр с электростатической обратной связью.
18. Эффект влияния вторичных колебаний инерционного тела на первичные при воздействии постоянной и переменной угловых скоростей основания.
19. Особенности динамики линейных осцилляторов.
20. Электростатическая жесткость подвеса.
21. Принцип работы, особенности конструкции и уравнение движения микрогироскопов LL-типа.
22. Принцип работы, особенности конструкции и уравнение движения микрогироскопов LR-типа.
23. Принцип работы, особенности конструкции и уравнение движения микрогироскопов RR-типа.
24. Теория многомерных упругих подвесов, требования к их структуре по-

строения и параметрам.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Корректное использование широкого спектра научных понятий. Рассуждения логически непротиворечивы, последовательны, выявлены причинно-следственные связи, осуществлен последовательный анализ проблемы, все выводы обоснованы достоверной фактологической базой. Продемонстрировано умение целостно видеть проблему, выделять ее ключевое звено.
Хорошо	Достаточный уровень знаний. Может быть продемонстрировано знание основных принципов и концепций при наличии некоторых несущественных пробелов. Целостное видение рассматриваемой проблемы присутствует, но не до конца выражено в авторском анализе.
Удовлетворительно	Удовлетворительный уровень знаний. Налицо ряд пробелов в знании основных принципов и концепций. Анализ проблемы проведен фрагментарно. Выводы в основном верные, но в рассуждении допущены логические пробелы, мешающие целостному видению рассматриваемой проблемы.
Неудовлетворительно	Низкий уровень знаний. Допущены существенные ошибки. Отсутствие логических рассуждений, понимания проблемы, необоснованность выводов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	МЭМС/НЭМС. Основные понятия и определения	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Ответы на вопросы в билете и экзаменатора, решение прикладной задачи, результаты защиты курсовой работы
2	Методы моделирования типовых компонентов МЭМС/НЭМС	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Ответы на вопросы в билете и экзаменатора, решение прикладной задачи, результаты защиты курсовой работы
3	Методы и схемотехника измерений выходных сигналов сенсоров МЭМС/НЭМС	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Ответы на вопросы в билете и экзаменатора, решение прикладной задачи, результаты защиты курсовой работы
4	Методы разработки дискретных моделей механических компонентов МЭМС/НЭМС	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Ответы на вопросы в билете и экзаменатора, решение прикладной задачи, результаты защиты курсовой работы

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задачи 20 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к проекту, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы / В.Я. Распопов. — М.: Машиностроение. 2007. — 400 с.
2. Варадан В. ВЧ МЭМС и их применение / В. Варадан, К. Виной, К. Джозе. — М.: Техносфера, 2004. — 528 с.
3. Тимофеев В.Н. Техническая механика микросистем / В.Н. Тимофеев. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 176 с.
4. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах) / Под ред. Б. Бхушана. — М.: Техносфера, 2010.
5. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. — М.: Техносфера, 2006. — 592 с.
6. Джексон Р. Новейшие датчики / Р. Джексон. — М.: Техносфера, 2007. — 384 с.
7. Войтович И.Д., Корсунский В.М. Интеллектуальные сенсоры / И.Д. Войтович, В.М. Корсунский. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 624 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Системы компьютерной математики MathCAD, MatLab

Программный комплекс ANSYS

Журнал «Нано- и микросистемная техника». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.microsystems.ru>.

An information portal for the MEMS and Nanotechnology community [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.memsnet.org>.

Новости МЭМС и нанотехники [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.smalltimes.com.

Презентации Массачусетского института технологий по курсу «Разработка и изготовления МЭМС»:

<http://ocw.mit.edu/courses/electricalengineering-and-computer-science/6-777j-design-and-fabrication-of-microelectromechanicaldevices-spring-2007/lecture-notes/>

Презентации Университета Миннесоты по курсу «МЭМС»:

<http://me.umn.edu/courses/me8254/lectnotes.html>

Презентации Университета Техаса по курсу «Основы МЭМС»: <http://www.uta.edu/utari/acs/jmireles/MEMSclass/MAINpage.htm>

Презентация «MEMS Multiphysics Simulation in ANSYS» Workbench David Harrar \ Ozen Engineering, Inc. — 2016. — URL: http://www.ozeninc.com/downloads/PRESENTATIONMulitiphysics_Simulation_for_MEMS_Using_Workbench.pdf

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Учебный компьютерный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в Интернет.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) «Микроэлектромеханические системы»

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта обучающиеся должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают труд-

	ности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных занятий, для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего ка- федрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			